

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-043300

(43)Date of publication of application : 08.02.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/31
C23C 14/54
C23C 16/52
H01L 21/22

(21)Application number : 2000-224146

(71)Applicant : TOKYO ELECTRON LTD

(22)Date of filing : 25.07.2000

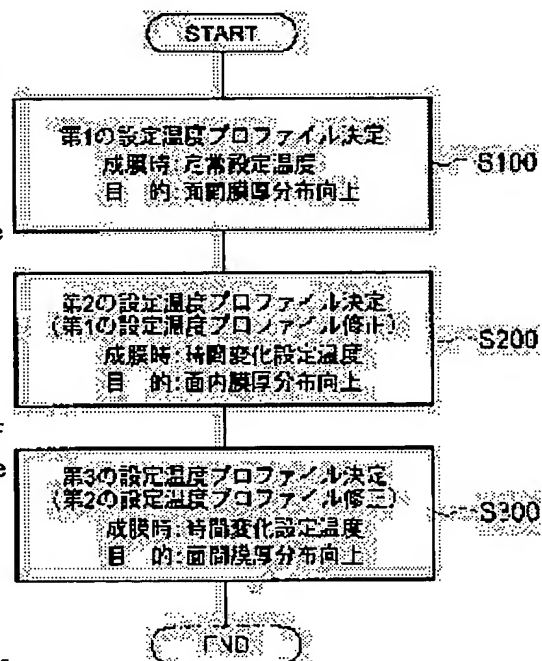
(72)Inventor : O BUNRYO
SAKAMOTO KOICHI
SUZUKI FUJIO
YASUHARA MOYURU

(54) METHOD FOR DECIDING CONTROL CONDITION OF HEAT TREATMENT DEVICE, HEAT TREATMENT DEVICE AND METHOD FOR HEAT TREATMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To uniformize the film thickness distribution between a plurality of wafers and within a wafer surface in the case of heat-treating the wafer.

SOLUTION: The first setting temperature profile for uniformizing the distribution of film thickness between substrates (a group of substrates) is decided by adjusting the value of a steady setting temperature between the plurality of substrates (the group of substrates). Then, based on the first setting temperature profile, an hourly varied setting temperature obtained by hourly varying the setting temperature in deposition is applied to decide the second setting temperature profile for uniformizing the distribution of the film thickness in a substrate surface by adjusting the rate of the change of the setting temperature. After then, based on the second setting temperature profile, the third setting temperature profile for uniformizing the distribution of the film thickness between the substrates (the group of substrates) by adjusting the time average of the setting temperature between the plurality of substrates (the group of substrates).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-43300
(P2002-43300A)

(43) 公開日 平成14年2月8日 (2002.2.8)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-コード (参考)
H 0 1 L 21/31		H 0 1 L 21/31	B 4 K 0 2 9
C 2 3 C 14/54		C 2 3 C 14/54	D 4 K 0 3 0
16/52		16/52	5 F 0 4 5
H 0 1 L 21/22	5 1 1	H 0 1 L 21/22	5 1 1 A

審査請求 未請求 請求項の数33 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2000-224146(P2000-224146)

(22) 出願日 平成12年7月25日 (2000.7.25)

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社
東京都港区赤坂5丁目3番6号

(72) 発明者 王 文凌

神奈川県津久井郡城山町町屋1丁目2番41号
東京エレクトロン東北株式会社相模事業所内

(72) 発明者 坂本 浩一

神奈川県津久井郡城山町町屋1丁目2番41号
東京エレクトロン東北株式会社相模事業所内

(74) 代理人 100077849

弁理士 須山 佐一

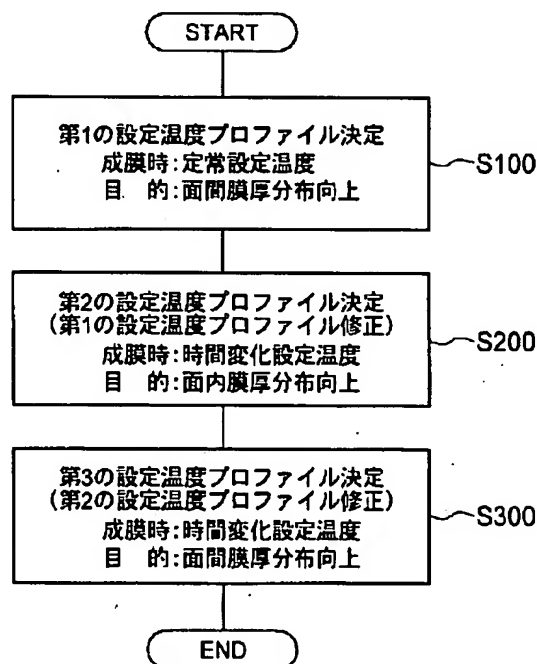
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱処理装置の制御条件決定方法、熱処理装置、および熱処理方法

(57) 【要約】

【課題】 ウエハを熱処理するに際して複数のウエハ間およびウエハ面内における膜厚分布の均一化を図る。

【解決手段】 複数の基板（基板群）間で定常設定温度の値を調整することで基板（基板群）間の膜厚分布の均一化を図る第1の設定温度プロファイルを決定する。そして、第1の設定温度プロファイルを基に、成膜中の設定温度を時間的に変化させた時間変化設定温度を適用し、設定温度の変化率を調整することによって基板面内の膜厚分布の均一化を図る第2の設定温度プロファイルを決定する。その後、第2の設定温度プロファイルを基に、複数の基板（基板群）間で設定温度の時間平均を調整することで基板（基板群）間の膜厚分布の均一化を図る第3の設定温度プロファイルを決定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の基板群から構成されるバッチ内の基板の基板温度を、時間の経過と設定温度との関係を表した複数の設定温度プロファイルに従って制御する熱処理装置の制御条件を決定する方法であって、

第1のバッチにおける複数の基板群に対してそれぞれ規定された設定温度プロファイルであって、処理ガスを導入して基板上に膜を形成する熱処理中における設定温度が時間の経過と共に変化する時間変化設定温度である設定温度プロファイルに従って、前記第1のバッチにおける複数の基板群を熱処理する第1の熱処理工程、および該複数の基板群の基板上に形成された膜の膜厚を測定する第1の膜厚測定工程とを含む第1の熱処理・膜厚測定工程と、

前記第1の膜厚測定工程によって測定された前記第1のバッチにおける基板群の基板上の膜の膜厚に基づいて、熱処理を行った際にそれぞれの基板群間で基板上に形成される膜の膜厚が略同一となるように、それぞれの前記設定温度プロファイルを修正する第1の設定温度プロファイル修正工程と、

を具備することを特徴とする熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項2】 前記熱処理中におけるそれぞれの前記設定温度プロファイルの勾配が、時間的に略一定であることを特徴とする請求項1記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項3】 前記第1の膜厚測定工程が、それぞれ前記基板群の基板上の複数箇所での膜の膜厚を測定し、その平均値としてそれぞれの基板の膜厚を算出する工程を含むことを特徴とする請求項1記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項4】 前記第1の設定温度プロファイル修正工程が、熱処理中の基板温度と膜厚との膜厚温度依存関係に基づいて、それぞれの前記設定温度の平均値を算出し、算出した平均値に基づいて前記設定温度プロファイルを修正する工程を含むことを特徴とする請求項1記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項5】 前記第1の設定温度プロファイル修正工程で修正された前記第1の設定温度プロファイルに従って、第2のバッチにおける複数の基板群を熱処理し、該複数の基板群の基板上に形成された膜の膜厚を測定する第2の熱処理・膜厚測定工程と、

前記第2の熱処理・膜厚測定工程によって測定されたそれぞれの前記基板群の基板上の膜の膜厚に基づいて、熱処理を行った際にそれぞれの基板群間で基板上に形成される膜の膜厚を略同一とするための、それぞれの前記設定温度プロファイルを修正する第2の設定温度プロファイル修正工程と、

を具備することを特徴とする請求項1記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項6】 前記第2の設定温度プロファイル修正工程が、熱処理中の基板温度と膜厚との膜厚温度依存関係に基づいて、それぞれの前記設定温度プロファイルの前記時間変化設定温度の平均値を算出する工程を含むことを特徴とする請求項5記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項7】 前記第2の設定温度プロファイル修正工程が、

前記第2の膜厚測定工程において測定された前記第2のバッチにおける基板群の基板上の膜の膜厚および前記第2の熱処理工程における熱処理中の前記時間変化設定温度の時間平均値と、前記第1の膜厚測定工程において測定された前記第1のバッチにおける基板群の基板上の膜の膜厚および前記第1の熱処理工程における熱処理中の前記時間変化設定温度の時間平均値に基づいて、前記膜厚温度依存関係を算出する工程を含むことを特徴とする請求項6記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項8】 前記第2の熱処理・膜厚測定工程と、前記第2の設定温度プロファイル修正工程を繰り返すことを特徴とする請求項5記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項9】 複数の基板群から構成されるバッチ内の基板の基板温度を、設定温度と時間の経過との関係を表したそれぞれの設定温度プロファイルに従って制御する熱処理装置の制御条件を決定する方法であって、

複数の基板群に対してそれぞれ設定され、処理ガスを導入して基板上に膜を形成する熱処理中における設定温度が略一定の定常設定温度であって、かつ複数の基板群間で基板上に略同一の膜厚の膜を形成する第1の設定温度プロファイルを決定する第1の設定温度プロファイル決定工程と、

複数の基板群に対してそれぞれ設定され、処理ガスを導入して基板上に膜を形成する熱処理中における設定温度が時間の経過と共に変化する時間変化設定温度である第2の設定温度プロファイルであって、かつ第1の設定温度プロファイルを修正してなる第2の設定温度プロファイルを決定する第2の設定温度プロファイル決定工程と、

複数の基板群に対してそれぞれ設定され、処理ガスを導入して基板上に膜を形成する熱処理中における設定温度が時間の経過と共に変化する時間変化設定温度であり、該複数の基板群間で基板上に略同一の膜厚の膜を形成する第3の設定温度プロファイルであって、かつ前記第2の設定温度プロファイルを修正してなる第3の設定温度プロファイルを決定する第3の設定温度プロファイル決定工程と、

を具備することを特徴とする熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項10】 前記第1の設定温度プロファイル決定

工程が、
熱処理中の定常設定温度が略同一の設定温度プロファイルに従って、第1のバッチにおける複数の基板群を熱処理する第1の熱処理工程、および該複数の基板群の基板上に形成された膜の膜厚を測定する第1の膜厚測定工程とを含む第1の熱処理・膜厚測定工程と、
前記第1の膜厚測定工程によって測定された前記基板群の基板上に形成された膜の膜厚に基づいて、熱処理を行った際にそれぞれの前記基板群間で基板上に形成される膜の膜厚が略同一となるそれぞれの定常設定温度を算出し、算出した定常設定温度に基づいて設定温度プロファイルを修正する第1の設定温度プロファイル修正工程と、
を具備することを特徴とする請求項9記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項11】 前記第1の設定温度プロファイル修正工程が、熱処理中における基板温度と膜厚との膜厚温度依存関係に基づいて、それぞれの前記設定温度プロファイルの前記定常設定温度を算出する工程を含むことを特徴とする請求項10記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項12】 前記第1の膜厚測定工程が、前記第1のバッチにおける基板群の基板上の複数箇所での膜の膜厚を測定し、その平均値としてそれぞれの該基板の膜厚を算出する工程を含むことを特徴とする請求項11記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項13】 前記第1の設定温度プロファイル決定工程が、
前記第1の設定温度プロファイル修正工程で修正された前記設定温度プロファイルに従って、第2のバッチにおける複数の基板群を熱処理し、該複数の基板群の基板上に形成された膜の膜厚を測定する第2の熱処理・膜厚測定工程と、
前記第2の熱処理・膜厚測定工程によって測定されたそれぞれの前記基板群の基板上に形成された膜の膜厚に基づいて、熱処理を行った際にそれぞれの該基板群間で基板上に形成される膜の膜厚が略同一になるように、それぞれの前記設定温度プロファイルを修正する第2の設定温度プロファイル修正工程とをさらに具備することを特徴とする請求項10記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項14】 前記第2の設定温度プロファイル修正工程が、熱処理中の基板温度と膜厚との膜厚温度依存関係に基づいて、それぞれの前記設定温度プロファイルの定常設定温度を算出する工程を含むことを特徴とする請求項13記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項15】 前記第2の設定温度プロファイル修正工程が、
前記第2の膜厚測定工程において測定された前記第2のバッチにおける基板群の基板上に形成された膜の膜厚お

よび前記第2の熱処理工程における熱処理中の定常設定温度と、前記第1の膜厚測定工程において測定された前記第1のバッチにおける基板群の基板上に形成された膜の膜厚および前記第1の熱処理工程における熱処理中の定常設定温度に基づいて、前記膜厚温度依存関係を算出する工程を含むことを特徴とする請求項14記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項16】 前記第2の熱処理・膜厚測定工程と、前記第2の設定温度プロファイル修正工程を繰り返すことを特徴とする請求項13記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項17】 熱処理中におけるそれぞれの前記第2の設定温度プロファイルの前記時間変化設定温度の時間平均値と前記第1の設定温度プロファイルの定常設定温度が略等しいことを特徴とする請求項9記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項18】 熱処理中におけるそれぞれの前記第2の設定温度プロファイルの勾配が、時間的に略一定であることを特徴とする請求項9記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項19】 前記第2の設定温度プロファイル決定工程が、
前記第1の設定温度プロファイルに従って、第3のバッチにおける基板群を熱処理する第3の熱処理工程、および該基板群の基板面内の膜厚分布を測定する第3の膜厚測定工程とを含む第3の熱処理・膜厚測定工程と、
前記第3の膜厚測定工程によって測定された前記基板面内の膜厚分布に基づいて、前記第1の設定温度プロファイルを修正する第3の設定温度プロファイル修正工程と、
を具備することを特徴とする請求項9記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項20】 前記第3の膜厚測定工程が、前記基板の中央近傍および複数の周縁近傍箇所での膜の膜厚を測定する工程を含むことを特徴とする請求項19記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項21】 前記第3の膜厚測定工程が、前記基板の中央近傍からの距離の関数として前記基板面内の膜厚分布を算出する工程を含むことを特徴とする請求項19記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項22】 前記第3のバッチにおける基板面内の膜厚分布が、前記基板の中央近傍からの距離の2乗の関数で表されることを特徴とする請求項21記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項23】 前記基板面内の膜厚分布が、基板の中央近傍の膜厚と周縁近傍の膜厚の差で表されることを特徴とする請求項19記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項24】 前記第3の設定温度プロファイル修正工程が、熱処理中の基板温度と膜厚との膜厚温度依存関

係および前記基板面内の膜厚分布に基づいて、基板上に略均一な膜厚の膜を形成するために必要な基板面内の必要温度分布を算出する工程を含むことを特徴とする請求項19記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項25】 前記必要温度分布が、基板の中央近傍の温度と周縁近傍の温度の差で表されることを特徴とする請求項24記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項26】 前記第3の設定温度プロファイル修正工程が、熱処理中の時間変化設定温度の勾配と基板面内の温度分布との勾配面内分布依存関係および前記必要温度分布に基づいて、基板上に略均一な膜厚の膜を形成するために必要な前記時間変化設定温度の必要勾配を算出し、該必要勾配に基づいて前記第1の設定温度プロファイルを修正する工程を含むことを特徴とする請求項24記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項27】 前記第2の設定温度プロファイル決定工程が、前記第3の設定温度プロファイル修正工程で修正された前記第1の設定温度プロファイルに従って、第4のバッチにおける基板群を熱処理する第4の熱処理工程、および該基板群の基板面内の膜厚分布を測定する第4の膜厚測定工程とを含む第4の熱処理・膜厚測定工程と、をさらに具備することを特徴とする請求項19記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項28】 前記第4の設定温度プロファイル修正工程が、熱処理中の基板温度と膜厚との膜厚温度依存関係に基づいて、基板上に略均一な膜厚の膜を形成するために必要な基板面内の必要温度分布を算出する工程を含むことを特徴とする請求項27記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項29】 前記第4の設定温度プロファイル修正工程が、前記第4の膜厚測定工程において測定された前記第4のバッチにおける基板群の基板上に形成された膜の膜厚および第2の熱処理工程における熱処理中の前記時間変化設定温度の時間平均値と、前記第3の膜厚測定工程において測定された前記第3のバッチにおける基板群の基板上に形成された膜の膜厚および第3の熱処理工程における熱処理中の前記時間変化設定温度の時間平均値に基づいて、前記膜厚温度依存関係を算出する工程を含むことを特徴とする請求項28記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項30】 前記第4の熱処理・膜厚測定工程と、前記第4の設定温度プロファイル修正工程を繰り返すことを特徴とする請求項27記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項31】 前記第3の温度設定プロファイル決定工程が、前記第2の設定温度プロファイルに従って、第5のバッチにおける複数の基板群を熱処理する第5の熱処理工

程、および該複数の基板群の基板上に形成された膜の膜厚を測定する第5の膜厚測定工程とを含む第5の熱処理・膜厚測定工程と、

前記第5の膜厚測定工程によって測定されたそれぞれの前記基板群の基板上に形成された膜の膜厚に基づいて、熱処理を行った際にそれぞれの基板群間で基板上に形成される膜の膜厚が略同一になるそれぞれの前記時間経過設定温度の平均値を算出し、算出した平均値に基づいて前記第2の設定温度プロファイルを修正する第5の設定温度プロファイル修正工程と、

10 を具備することを特徴とする請求項10記載の熱処理装置の制御条件決定方法。

【請求項32】 処理室内に基板を配置して熱処理を行うための熱処理装置であって、前記基板を加熱する加熱部と、前記基板上に膜を形成するための処理ガスを前記処理室内に導入するガス導入部と、時間の経過と設定温度との関係を表した設定温度プロファイルを含み、かつ前記基板上に膜を形成する熱処理工程を記述する熱処理工程記述部を少なくとも有する処理レシピに従って、前記加熱部および前記ガス導入部を制御する制御部とを具備し、前記設定温度が、前記熱処理工程中および該熱処理工程以前の一定期間で、前記時間変化設定温度であるように、前記設定温度プロファイルが規定されていることを特徴とする熱処理装置。

20 【請求項33】 設定温度に従って温度を制御し、基板の熱処理を行う方法であって、前記基板面上の温度分布の安定化のための安定化工程と、

30 処理ガス雰囲気中で前記基板上に膜を形成する熱処理工程と、を具備し、前記設定温度が、前記熱処理工程中の期間および前記安定化工程中の少なくとも一部の該熱処理工程に先立つ期間において、前記時間変化設定温度であることを特徴とする基板の熱処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

40 【発明の属する技術分野】 本発明は、基板等の被処理体の熱処理を行う熱処理装置の制御条件を決定する方法に関し、特に基板に均一な膜を形成するための熱処理装置の制御条件決定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体製造プロセスにおいて、基板である半導体ウエハ（以下ウエハという）に対して熱処理を行う装置の一つにバッチ処理を行う縦型熱処理装置がある。この装置は、ウエハポートなどと呼ばれているウエハ保持具に多数枚のウエハを棚状に保持し、この保持具を縦型の熱処理炉の中に搬入して熱処理、例えばCVD

(Chemical Vapor Deposition) 処理や酸化処理を行う。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】熱処理装置でウエハを熱処理するときにウエハ面内あるいは複数のウエハ間で熱処理の条件に不均一が生じる場合がある。その結果、熱処理したウエハのウエハ面内あるいは複数のウエハ間で、熱処理の結果生成された膜の膜厚の分布に不均一が生じる。複数のウエハを均一に熱処理するために熱処理装置内部が均一の状態であるのが理想であるが、熱処理装置内部を時間的にも空間的にも常に均一な状態にするのは困難である。そこで、複数のウエハができるだけ均一に近い条件で熱処理を行われるように、熱処理装置を精密に制御することが必要になってくる。

【0004】本発明はこのような課題を解決するためになされたもので、熱処理装置を用いて複数のウエハを均一に熱処理するための制御条件を決定するための方法を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】(1)上記課題を解決するために、次のように熱処理装置の制御条件を決定する。複数の基板群から構成されるバッチ内の基板の基板温度を、時間の経過と設定温度との関係を表した複数の設定温度プロファイルに従って制御する熱処理装置の制御条件を決定する方法であって、複数の第1のバッチにおける基板群に対してそれぞれ規定された設定温度プロファイルであって、処理ガスを導入して基板上に膜を形成する熱処理中における設定温度が時間の経過と共に変化する時間変化設定温度である設定温度プロファイルに従って、該第1のバッチにおける複数の基板群を熱処理する第1の熱処理工程、および該複数の基板群の基板上に形成された膜の膜厚を測定する第1の膜厚測定工程とを含む第1の熱処理・膜厚測定工程と、前記第1の膜厚測定工程によって測定された前記第1のバッチにおける基板群の基板上に形成された膜の膜厚に基づいて、熱処理を行った際にそれぞれの基板群間で基板上に形成される膜の膜厚が略同一となるように、それぞれの前記設定温度プロファイルを修正する第1の設定温度プロファイル修正工程と、を具備することを特徴とする。

【0006】時間変化設定温度において設定温度プロファイルを修正することにより、基板間の膜厚分布を均一化できる。

【0007】ここで、熱処理中におけるそれぞれの前記設定温度プロファイルが、第1の設定温度プロファイル修正工程において修正される前後で、定数項を除き略同一とすることができる。熱処理中の設定温度プロファイルの形状を同じくすることによって、修正前後で基板内の膜厚分布に変化が生じにくくなる。

【0008】また、熱処理中におけるそれぞれの前記設定温度プロファイルの勾配を、時間的に略一定とでき

る。設定温度プロファイルの勾配の大きさが基板面内の温度分布を決定する要因の一つであり、これを一定にすることで熱処理中の温度分布ひいては成膜レートの分布状態を時間的に一定にできる。

【0009】前記第1の設定温度プロファイル修正工程において、熱処理中の基板温度と膜厚との膜厚温度依存関係に基づいて、熱処理中におけるそれぞれの前記設定温度の平均値を算出し、算出した平均値に基づいて前記設定温度プロファイルを修正することができる。設定温度の平均値は、膜の成長速度の平均と対応するファクターであり、膜厚分布の均一化も設定温度の平均値に基づいて行うのが効率的となる。

【0010】さらに、熱処理中の基板温度と膜厚との膜厚温度依存関係例えば膜厚温度係数に基づいて、前記設定温度プロファイルの前記時間変化設定温度の平均値を算出することができる。この膜厚温度依存関係は理論式を用いることもできるが、実験的に導出した値を採用することもできる。

【0011】(2)また、本発明に係る熱処理装置の制御条件決定方法は、複数の基板群から構成されるバッチ内の基板の基板温度を、設定温度と時間の経過との関係を表したそれぞれの設定温度プロファイルに従って制御する熱処理装置の制御条件を決定する方法であって、複数の基板群に対してそれぞれ設定され、処理ガスを導入して基板上に膜を形成する熱処理中における設定温度が略一定の定常設定温度であって、かつ複数の基板群間で基板上に略同一の膜厚の膜を形成する第1の設定温度プロファイルを決定する第1の設定温度プロファイル決定工程と、複数の基板群に対してそれぞれ設定され、処理ガスを導入して基板上に膜を形成する熱処理中における設定温度が時間の経過と共に変化する時間変化設定温度である第2の設定温度プロファイルであって、かつ第1の設定温度プロファイルを修正してなる第2の設定温度プロファイルを決定する第2の設定温度プロファイル決定工程と、複数の基板群に対してそれぞれ設定され、処理ガスを導入して基板上に膜を形成する熱処理中における設定温度が時間の経過と共に変化する時間変化設定温度であり、該複数の基板群間で基板上に略同一の膜厚の膜を形成する第3の設定温度プロファイルであって、かつ前記第2の設定温度プロファイルを修正してなる第3の設定温度プロファイルを決定する第3の設定温度プロファイル決定工程と、を具備することを特徴とする。

【0012】基板群間の膜厚分布の均一化を図る第1の設定温度プロファイルの決定、第1の設定温度プロファイルを修正して基板面内の膜厚分布の均一化を図る第2の設定温度プロファイルの決定、第2の設定温度プロファイルを修正して第1の設定温度プロファイル修正時に多少劣化した可能性がある基板群間の膜厚分布の微調整を図る第3の設定温度プロファイルの決定を順に実施することで、基板群間および基板面内の双方で良好な膜厚

分布をもたらす制御条件を容易に決定できる。

【0013】① 前記第1の設定温度プロファイル決定工程が、熱処理中の定常設定温度が略同一の設定温度プロファイルに従って、第1のバッチにおける複数の基板群を熱処理する第1の熱処理工程、および該複数の基板群の基板上に形成された膜の膜厚を測定する第1の膜厚測定工程とを含む第1の熱処理・膜厚測定工程と、前記第1の膜厚測定工程によって測定された前記基板群の基板上に形成された膜の膜厚に基づいて、熱処理を行った際にそれぞれの前記基板群間で基板上に形成される膜の膜厚が略同一となるそれぞれの定常設定温度を算出し、算出した定常設定温度に基づいて設定温度プロファイルを修正する第1の設定温度プロファイル修正工程と、を具備することができる。定常設定温度の値を調整することで、複数の基板群間で基板上の膜厚分布の均一化を図れる。

【0014】ここで、前記第1の設定温度プロファイル修正工程が、基板温度と膜厚との膜厚温度依存関係、例えば膜厚温度係数に基づいて、熱処理中におけるそれぞれの前記設定温度プロファイルの前記定常設定温度を算出する工程を含むことができる。膜厚温度依存関係は、理論的に算出したものを用いても良いし実験的に求めても差し支えない。

【0015】② 前記第2の設定温度プロファイル決定工程が、前記第1の設定温度プロファイルに従って、第3のバッチにおける基板群を熱処理する第3の熱処理工程、および該基板群の基板面内の膜厚分布を測定する第3の膜厚測定工程とを含む第3の熱処理・膜厚測定工程と、前記第3の膜厚測定工程によって測定された前記基板群の基板面内の膜厚分布に基づいて、前記第1の設定温度プロファイルを修正する第3の設定温度プロファイル修正工程と、を具備することができる。第1の設定温度プロファイルを修正することで、複数の基板群間で膜厚分布の均一性をある程度保ちながら、基板面内の膜厚分布を均一化できる。

【0016】ここで、熱処理中におけるそれぞれの前記第2の設定温度プロファイルの勾配を、時間的に略一定にできる。設定温度プロファイルの勾配を一定とすることで、基板面上の温度分布、ひいては膜の成長速度の分布を時間的に略一定とすることができる。

【0017】設定温度プロファイルの修正に際し、熱処理中の基板温度と膜厚との膜厚温度依存関係および前記第3のバッチにおける基板群の基板面内の膜厚分布に基づいて、基板面内に略均一な膜厚の膜を形成するために必要な基板面内の必要温度分布を算出することができる。熱処理中の温度は膜の成長速度と関連性の強いファクターなので、基板面内の温度分布を制御することで基板面内の膜厚分布の均一化が可能となる。

【0018】熱処理中の時間変化設定温度の勾配と基板面内の温度分布との勾配面内分布依存関係および前記必

要温度分布に基づいて、基板上に略均一な膜厚の膜を形成するために必要な前記時間変化設定温度の必要勾配を算出し、該必要勾配に基づいて前記第1の設定温度プロファイルを修正することができる。時間変化設定温度の勾配を調整することで、基板面内の温度分布を制御でき、基板面内の膜厚分布の均一化を図れる。

【0019】熱処理中の基板温度と膜厚との膜厚温度依存関係に基づいて、基板面内に略均一な膜厚の膜を形成するために必要な基板面内の必要温度分布を算出することができる。膜厚温度依存関係は例えば膜厚温度係数があり、理論式による算出あるいは実験による導出を行える。このとき温度としては時間変化設定温度の時間平均値を用いると取扱が容易になる。

【0020】③ 前記第3の温度設定プロファイル決定工程が、前記第2の設定温度プロファイルに従って、第5のバッチにおける複数の基板群を熱処理する第5の熱処理工程、および該複数の基板群の基板上に形成された膜の膜厚を測定する第5の膜厚測定工程とを含む第5の熱処理・膜厚測定工程と、前記第5の膜厚測定工程によって測定されたそれぞれの前記基板群の基板上の膜厚に基づいて、熱処理を行った際にそれぞれの基板群間で基板上に形成される膜の膜厚が略同一になるそれぞれの前記時間経過設定温度の平均値を算出し、算出した平均値に基づいて前記第2の設定温度プロファイルを修正する第5の設定温度プロファイル修正工程と、を具備することができる。第2の設定温度プロファイルを修正することで、基板面内の膜厚分布の均一性をある程度保ちながら、複数の基板群間で膜厚分布を微調整できる。

【0021】(3) 本発明に係る熱処理装置は、処理室内に基板を配置して熱処理を行うための熱処理装置であって、前記基板を加熱する加熱部と、前記基板上に膜を形成するための処理ガスを前記処理室内に導入するガス導入部と、時間の経過と設定温度との関係を表した設定温度プロファイルを含み、かつ前記基板上に膜を形成する熱処理工程を記述する熱処理工程記述部を少なくとも有する処理レシピに従って、前記加熱部および前記ガス導入部を制御する制御部とを具備し、前記設定温度が、前記熱処理工程中および該熱処理工程以前の一定期間で、前記時間変化設定温度であるように、前記設定温度プロファイルが規定されていることを特徴とする。

【0022】時間変化設定温度が開始して一定期間経過してから熱処理工程が開始するので、熱処理工程中において基板面内の温度分布が安定となる。このため、膜の成長速度が時間的に安定したものとなる。

【0023】(4) 本発明に係る熱処理方法は、設定温度に従って温度を制御し、基板の熱処理を行う方法であって、前記基板面上の温度分布の安定化のための安定化工程と、処理ガス雰囲気中で前記基板上に膜を形成する熱処理工程と、を具備し、前記設定温度が、前記熱処理工程中の期間および前記安定化工程中の少なくとも一部

の該熱処理工程に先立つ期間において、前記時間変化設定温度であることを特徴とする。

【0024】時間変化設定温度が開始して一定期間経過してから熱処理工程が開始するので、熱処理工程中において基板面内の温度分布が安定となる。このため、膜の成長速度が時間的に安定したものとなる。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して詳細に説明する。図1、図2は、それぞれ本発明に係る縦型熱処理装置の断面図および斜視図であ

る。

【0026】本発明に係る縦型熱処理装置は、図1に示すように、例えば石英で作られた内管2a及び外管2bよりなる二重管構造の反応管2を備え、反応管2の下部側には金属製の筒状のマニホールド21が設けられている。

【0027】内管2aは上端が開口されており、マニホールド21の内側で支持されている。外管2bは上端が塞がれており、下端がベースプレート22の下側にてマニホールド21の上端に気密に接合されている。

【0028】前記反応管2内には、図2に示すように、多数枚例えば150枚の基板をなす半導体ウエハW（製品ウエハ）が各々水平な状態で上下に間隔をおいて保持具であるウエハポート23に棚状に載置されており、このウエハポート23は蓋体24の上に保温筒（断熱体）25を介して保持されている。前記ウエハポート23には、処理の状態をモニターするモニタウエハW1～W5が散在して置かれる。

【0029】前記蓋体24は、ウエハポート23を反応管2内に搬入、搬出するためのポートエレベータ26の上に搭載されており、上限位置にあるときにはマニホールド21の下端開口部、即ち反応管2とマニホールド21とで構成される処理容器の下端開口部を閉塞する役割を持つものである。

【0030】反応管2の周囲には例えば抵抗加熱体よりなるヒータ3が設けられている。ヒータ3は5分割されていて、各ヒータ31～35が電力コントローラ41～45により独立して発熱量を制御できるようになっている。この例では反応管2、マニホールド21、ヒータ3により加熱炉が構成される。

【0031】内管2aの内壁には、ヒータ31～35に対応して熱電対等の内側温度センサS1in～S5inが設置されている。また、外管2bの外壁にはヒータ31～35に対応して熱電対等の外側温度センサS1out～S5outが設置されている。

【0032】内管2aの内部はヒータ31～35に対応して、5つの領域（ゾーン1～5）に区分して考えることができる。そして、ウエハはその配置された場所（ゾーン1～5）に対応して、5つの基板群G1～G5に区分することができる。なお、基板群G1～G5全体を含

めて、バッチとよぶこととする。即ち、反応管2内に配置されるとともにウエハポート23に載置されたウエハの全体は、1つのバッチを構成し、一緒に熱処理が行われることになる。

【0033】前述のモニタウエハは、各基板群G1～G5の一つずつ（各ゾーン1～5に対応して）モニタウエハW1～W5として載置されている。即ち、モニタウエハW1～W5はそれぞれ基板群G1～G5を代表するウエハ（基板）であり、ゾーン1～5と1対1に対応している。このモニタウエハW1～W5は、通常は製品ウエハと同一のウエハ（半導体ウエハ）が用いられ、その温度が推定対象となる。後述のように、モニタウエハW1～W5の温度は、温度センサS1in～S5in、S1out～S5outの測定信号から推定される。

【0034】マニホールド21には、内管2a内にガスを供給するように複数のガス供給管が設けられており、図1では便宜上2本のガス供給管51、52を示してある。各ガス供給管51、52には、ガス流量をそれぞれ調整するための例えばマスフローコントローラなどの流量調整部61、62やバルブ（図示せず）などが介設されている。

【0035】更にまたマニホールド21には、内管2aと外管2bとの隙間から排気するように排気管27が接続されており、この排気管27は図示しない真空ポンプに接続されている。排気管27の途中には反応管2内の圧力を調整するための例えばバタフライバルブやバルブ駆動部などを含む圧力調整部28が設けられている。

【0036】この縦型熱処理装置は、反応管2内の処理雰囲気温度、反応管2内の圧力、ガス流量といった処理パラメータを制御するためのコントローラ100を備えている。このコントローラ100には、温度センサS1in～S5in、S1out～S5outからの測定信号が入力され、ヒータ3の電力制御器41～45、圧力調整部28、流量調整部61、62に制御信号を出力する。

【0037】図3は、コントローラ100の内部構成のうち、ヒータ3の制御に係る部分の詳細を示すブロック図である。図3に示すようにコントローラ100は、温度センサS1in～S5in、S1out～S5outからの測定信号に基づいて推定したモニタウエハW1～W5の中央近傍の中央温度T1c～T5c、周縁近傍の周縁温度T1e～T5eを出力する基板温度推定部110、それぞれのモニタウエハW1～W5の中央温度T1c～T5c、周縁温度T1e～T5eからそれぞれのモニタウエハW1～W5の代表温度T1r～T5rを算出する代表温度算出部120、モニタウエハの代表温度T1r～T5rおよび設定温度プロファイル記憶部130に記憶された設定温度プロファイルを基にヒータの出力h1～h5を決定するヒータ出力決定部140から構成される。ヒータ出力決定部140で決定されたヒータ出

力 $h_1 \sim h_5$ は、制御信号として電力制御器41~45に送出される。

【0038】設定温度プロファイルは、時間の経過と設定温度（ウエハWのあるべき温度）との関係を表したものである。この1例を図4に示す。図4は、本発明に係る設定温度プロファイルを時間と温度の関係を表したグラフとして表現している。

【0039】（A）時刻 t_0 から t_1 までは設定温度が T_0 に保たれている。このとき、ウエハWを保持したウエハポート20を縦型熱処理炉10内に搬入される（ロード工程）。

（B）時刻 t_1 から t_2 までの間に、設定温度は温度 T_0 から T_1 まで一定のレートで上昇する（昇温工程）。

（C）時刻 t_2 から t_3 の間は、設定温度はそのまま T_1 に保たれる。実際のウエハWの温度は設定温度を一定にしても熱的な慣性のために温度が一定になるまで多少の時間がかかる。そのため、ウエハの温度が安定するまで次の工程に移るのを控える（安定化工程）。

【0040】（D）時刻 t_3 から t_4 の間、設定温度はそのまま T_1 に保たれる。このときに、ガス供給管51、52から処理ガス例えば SiH_2Cl_2 および NH_3 が縦型熱処理炉10の内部に導入され、例えばCVDによる SiN 膜の形成等が行われる（成膜工程）。即ち、この設定温度プロファイルは成膜工程の間の設定温度が一定の定常設定温度である。なお、後述するように成膜中に設定温度が変化する場合もあり、これは時間変化設定温度という。

（E）時刻 t_4 から t_5 の間は、設定温度が T_1 から T_0 まで一定のレートで低下する（降温工程）。

（F）時刻 t_5 以降は、設定温度が T_0 に保たれる。このとき、ウエハWを保持したウエハポート20が縦型熱*

$$x(t+1) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) \quad \cdots \cdots \text{式(1)}$$

$$y(t) = C \cdot x(t) + u(t) \quad \cdots \cdots \text{式(2)}$$

ここで、 t ：時間

$x(t)$ ： n 次元状態ベクトル

$y(t)$ ： m 次元出力ベクトル

$u(t)$ ： r 次元入力ベクトル

A 、 B 、 C ：それぞれ $n \times n$ 、 $n \times r$ 、 $m \times n$ の定数行列

である。

【0045】式(1)が状態方程式、式(2)が出力方程式と呼ばれ、式(1)、(2)を連立して解くことにより、入力ベクトル $u(t)$ に対応する出力ベクトル $y(t)$ を求めることができる。

【0046】本実施形態においては入力ベクトル $u(t)$ は温度センサ $S_{lin} \sim S_{5in}$ 、 $S_{lout} \sim$ *

$$x(t+1) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + K \cdot e(t) \quad \cdots \cdots \text{式(3)}$$

$$y(t) = C \cdot x(t) + D \cdot u(t) + e(t) \quad \cdots \cdots \text{式(4)}$$

を用いることもできる。

ここで、 t ：時間

* 処理炉10内から搬出される（アンロード工程）。

【0041】設定温度プロファイルは、以上の様に時間の経過に対応して(1)温度を直接指定する他に、

(2)昇温レート等の温度の変化率を指定する、あるいは(3)ヒータ出力を指定する等種々の表現方法が考えられる。結果として、時間の経過とウエハWの温度を対応づけるものであれば、見かけ上の表現方法に拘る必要はない。

【0042】設定温度プロファイルは、ウエハWの熱処理全体を決定する処理レシピの一部である。処理レシピには、設定温度プロファイルの他にも縦型熱処理炉10内からの大気排出や処理ガスの導入等の工程が時間経過と対応して表されている。熱処理全体で特に重要なのは成膜工程（熱処理工程）であり、処理レシピのうち成膜工程を記述する部分を成膜工程記述部（熱処理工程記述部）とよぶこととする。

【0043】図5は、コントローラ100によるヒータ3の制御手順を表すフロー図である。以下、このフロー図に基づき縦型熱処理炉10の温度制御の手順を説明する。

（A）熱処理のプロセスが開始されると、温度センサ S_{in} （ $S_{1in} \sim S_{5in}$ ）、 S_{out} （ $S_{1out} \sim S_{5out}$ ）の測定信号が温度推定部110によって読みとられる（ S_{11} ）。

【0044】（B）基板温度推定部110は、温度センサ S_{in} 、 S_{out} の測定信号からモニタウエハ $W_1 \sim W_5$ それぞれの中央温度 $T_{1c} \sim T_{5c}$ および周縁温度 $T_{1e} \sim T_{5e}$ を推定する（ S_{12} ）。この推定には制御工学において知られている以下の式(1)、(2)を用いることができる。

* S_{5out} の測定信号であり、出力ベクトル $y(t)$ は中央温度 $T_{1c} \sim T_{5c}$ および周縁温度 $T_{1e} \sim T_{5e}$ である。

【0047】式(1)、(2)において、温度センサ S_{in} 、 S_{out} の測定信号と中央温度 T_c 、周縁温度 T_e は、多入出力の関係にある。即ち、ヒータ3のゾーン1~5それぞれはモニタウエハ $W_1 \sim W_5$ のそれぞれに対して独立に影響を与えているわけではなく、一つのゾーンのヒータはどのモニタウエハにも何らかの影響を与えている。

【0048】状態方程式等は雑音を考慮した式(3)、(4)

$x(t)$ ： n 次元状態ベクトル

50 $y(t)$ ： m 次元出力ベクトル

$u(t)$: r 次元入力ベクトル
 $e(t)$: m 次元雑音ベクトル
 A, B, C, D, K : それぞれ $n \times n, n \times r, m \times n, m \times m, n \times m$ の定数行列である。

【0049】熱処理装置の熱特性によって定まる定数行列 A, B, C, D を求める手法として、例えば部分空間法を適用することができる。具体的には温度センサ $S_{1in} \sim S_{5in}, S_{1out} \sim S_{5out}$ の測定信号及び中央温度 $T_{1c} \sim T_{5c}$ および周縁温度 $T_{1e} \sim T_{5e}$ のデータを取得し、そのデータを例えばソフトウェア Matlab (製造: The MathWorks, Inc., 販売: サイバネットシステム株式会社) に入力することで、定数行列 A, B, C, D を逆算できる。

【0050】このデータ取得は、ヒータ $31 \sim 35$ の出力を徐々に変化させ、温度センサ $S_{1in} \sim S_{5in}, S_{1out} \sim S_{5out}$ の測定信号及び中央温度 $T_{1c} \sim T_{5c}$ および周縁温度 $T_{1e} \sim T_{5e}$ の時間的変動を*

$$T_r = T_c \cdot x + T_e \cdot (1 - x)$$

ここで、 x : 重み ($0 < x < 1$) である。重み x は、ウエハ W 上の温度分布を考慮して、代表温度 T_r がウエハ W の温度を代表する値としてふさわしくなるような値を採用する。具体的には、重み x は、例えば $1/3$ の値を採用できる。

【0054】(D) ヒータ出力決定部 130 は、代表温度 $T_{1r} \sim T_{5r}$ および設定温度プロファイルを基に電力制御器 $41 \sim 45$ への出力値 $h_1 \sim h_5$ を決定する

(S_{14})。ヒータ出力値 $h_1 \sim h_5$ は、例えば設定温度 T_{sp} と代表温度 T_r の差 ($T_{sp} - T_r$) に対応して決めることができる。あるいは昇温レート等の温度の変化速度に対応して決めても良い。

【0055】(E) ヒータ出力決定部 140 は、最終的に決定されたヒータ出力値 $h_1 \sim h_5$ を電力制御器 $41 \sim 45$ に制御信号として出力し (S_{15})、ヒータ $31 \sim 35$ それぞれの出力が制御される。

(F) 熱処理プロセスが終了していなければ、ステップ S_{11} に戻って半導体ウエハ W の温度制御が続行される (S_{16})。なお、このステップ S_{11} から S_{16} は多くの場合、1秒～4秒程度の周期で繰り返される。

【0056】続いて本発明に係る熱処理装置の設定温度プロファイルの決定方法について述べる。図6は、設定温度プロファイルの決定手順の概略を表したフロー図である。図6に示すように本発明に係る設定温度プロファイルの決定手順は大きく3つの工程に分けられる。

【0057】(A) 複数の基板群 $G_1 \sim G_5$ 間の膜厚分布が良好な第1の設定温度プロファイルを決める (S_{100})。ここで第1の設定温度プロファイルは、成膜時を定常設定温度としたものであり、複数の基板群においては、例えばそれらのモニタウエハ $W_1 \sim W_5$ 毎に決定される。その結果、複数の基板群における基板、例え

* 同時に測定することにより行われる。中央温度 $T_{1c} \sim T_{5c}$ および周縁温度 $T_{1e} \sim T_{5e}$ の測定は、熱電対を設置したモニタウエハを用いることで行える。

【0051】求められた定数行列 A, B, C, D の組合せは、複数存在するのが通例である。この組合せから、中央温度 $T_{1c} \sim T_{5c}$ および周縁温度 $T_{1e} \sim T_{5e}$ の算出値 (3)、(4) を連立して算出すると実測値が一致するものを選択する (モデルの評価)。

【0052】定数行列 A, B, C, D の組合せが定まれば、式 (1)、(2) または式 (3)、(4) を連立して解くことにより、温度センサ $S_{1in} \sim S_{5in}, S_{1out} \sim S_{5out}$ の測定信号から中央温度 $T_{1c} \sim T_{5c}$ および周縁温度 $T_{1e} \sim T_{5e}$ を算出できる。

【0053】(C) 代表温度算出部 120 は、中央温度 $T_{1c} \sim T_{5c}$ 、周縁温度 $T_{1e} \sim T_{5e}$ を基にモニタウエハ $W_1 \sim W_5$ それぞれの温度を代表する代表温度 $T_{1r} \sim T_{5r}$ を算出する (S_{13})。代表温度 T_r の算出は、例えばつぎの式 (5) によって行える。

$$\cdots \cdots \text{式 (5)}$$

ばモニタウエハ $W_1 \sim W_5$ 上への略同一の膜厚の膜の形成が可能となる。

【0058】(B) 第1の設定温度プロファイルを修正し、ウエハ (基板) 面内の膜厚分布が良好な第2の設定温度プロファイルを決める (S_{200})。ここで第2の設定温度プロファイルは、成膜時を時間変化設定温度としたものである。その結果、同一の基板内で均一な膜厚の膜の形成が可能となる。

【0059】この第2の設定温度プロファイルは、複数の基板群における基板例えばモニタウエハ $W_1 \sim W_5$ 毎に決定されることが好ましいが、代表的な基板例えばモニタウエハ W_3 を対象として第2の設定温度プロファイルを決めることも可能である。

【0060】(C) 第2の設定温度プロファイルを修正し、複数の基板群間での基板の膜厚分布が良好な第3の設定温度プロファイルを決める (S_{300})。ここで第3の設定温度プロファイルは、第2の設定温度プロファイルと同様に成膜時を時間変化設定温度としている。第1の設定温度プロファイルを修正して第2の設定温度プロファイルとした結果、第1の設定温度プロファイルでは良好であった基板群間での膜厚分布が不均一になることがある。このため、複数の基板群間の基板例えばモニタウエハ $W_1 \sim W_5$ 上への略同一の膜厚の膜の形成を可能とすべく、第2の設定温度プロファイルを修正する。

【0061】(第1の設定温度プロファイル決定工程の詳細) 次に S_{100} の第1の設定温度プロファイルの決定の詳細を説明する。図7は、第1の設定温度プロファイルの決定手順の詳細を表すフロー図である。

【0062】(A) 所定の設定温度プロファイルに従って、第1のパッチにおける複数の基板群からなる多数の

基板（ウエハW-1）を熱処理する（S102）。その後、複数の基板群間で基板（ウエハW-1）上に形成された膜の膜厚を測定する（S104）。第1のバッチにおける複数の基板群の基板ウエハW-1は、例えばモニタウエハW1-1～W5-1を用いることができる。

【0063】所定の設定温度プロファイルは、処理ガスを導入して膜の形成を行う成膜工程中の設定温度が定常設定温度である。この設定温度プロファイルは、複数の第1のウエハW-1で同一の値の定常設定温度を用いる。所定の設定温度プロファイルの例として、図4に示した設定温度プロファイルが挙げられる。

【0064】膜厚の測定には例えばエリプソメータ等の膜厚測定器を用いることができる。膜厚の測定は、ウエハW-1上の1箇所のみで行うこともできるが、ウエハW-1上の複数の箇所の膜厚を測定して、その平均値をそれぞれのウエハW-1の膜厚とすることが好ましい。

【0065】このときの測定点の1例を図8に示す。図8では、ウエハWの中央近傍の測定点A、ウエハWの中央と周縁との中間点の4つの測定点B～E、ウエハWの周縁近傍の4つの測定点F～Iの合計9箇所の測定点をウエハW上に設定している。なお、測定点I、E、A、*

$$\Delta = |D_{\max} - D_{\min}| / [(D_{\max} + D_{\min}) / 2]$$

……式（10）

ここで、

D_{\max} ：ウエハW1-1～W5-1の膜厚のうちの最大値

D_{\min} ：ウエハW1-1～W5-1の膜厚のうちの最小値である。

【0068】算出した膜厚分布比 Δ と設定した許容値とを比較し、膜厚分布比 Δ が許容値以下のときは膜厚分布が許容範囲内とし、そうでなければ許容範囲外でないと判断する。S106の判断がYesのときは所定の設定温度プロファイルは修正の必要がない。従って、これを第1の設定温度プロファイルとして、第1の設定温度プロファイル決定工程は終了する。

【0069】（C）S106の判断がNOのときは、膜の成長速度と温度との関係を表した膜厚温度係数を基にそれぞれの基板群の基板（ウエハW-1）毎に成膜中の定常設定温度の適切な値を算出する（S108）。そして、算出した定常設定温度に基づいて設定温度プロファイルが修正される。定常設定温度の算出は1バッチの基板群間でウエハW-1（例えば、モニタウエハW1-1※

$$V = C \cdot \exp(-E_a / (kT)) \quad \dots \text{式（20）}$$

ここで、

C：プロセス定数（成膜プロセスによって定まる定数）

E_a ：活性化エネルギー（成膜プロセスの種類によって定まる定数）

k：ボルツマン定数

★T：絶対温度である。

【0073】式（20）を温度Tで偏微分すると式（21）が得られる。

$$\{\partial V / \partial T\} / V = (E_a / (k \cdot T^2)) [1/^\circ\text{C}] \quad \dots \text{式（21）}$$

*C、G及び測定点F、B、A、D、Hはそれぞれ直線上に配置されている。

【0066】ウエハW-1上に膜厚分布がある場合には測定点Aを膜厚分布の中心点と一致させた方が好ましい。ウエハWの膜厚分布の1例を図9に示す。図9ではウエハWの形状からみた形状中心P0とウエハWの膜厚分布からみた膜厚分布中心P1が一致していない。ここで、 L_c は膜厚の等高線である。このような形状の中心P0と膜厚分布の中心P1の不一致は、ウエハWの配置された位置が熱処理装置の熱的な中心からずれていることに起因して生じることが多い。このような場合はウエハWを配置する位置を熱処理装置の熱的な中心と一致させるか、あるいは測定点Aの位置をウエハWの形状の中心から動かし、膜厚分布の中心点P0と一致させるのが好ましい。以下の膜厚測定の全てで測定点Aは膜厚分布の中心P1と一致しているものとする。

【0067】（B）測定した複数の基板群間でウエハW-1の膜厚分布が予め設定した許容範囲にあるか否かを判断する（S106）。これは例えば、次の式（10）に基づき膜厚分布比 Δ を算出することでできる。

※W5-1）の膜厚を揃え、基板群間の膜厚分布を均一にするために行われる。

【0070】このときはまずウエハW-1の膜厚をどの膜厚に揃えるかが決定される。揃えるべき目標膜厚Dtは予め決定しておいても良いし、あるいはモニタウエハW1-1～W5-1の膜厚の平均値を採用しても良い。

【0071】そして、この目標膜厚Dtとそれぞれの基板群でのウエハの膜厚D1（例えば、モニタウエハW1-1～W5-1それぞれの膜厚D11～D15）の実測値との差および膜厚温度係数に基づいて、ウエハW-1の膜厚D1を目標膜厚Dtに一致させるために必要なそれぞれの定常設定温度Tsp1（Tsp11～Tsp15）を算出する。

【0072】次に、膜厚温度係数について説明する。膜厚の成長速度（成膜速度）Vは、例えばCVD（Chemical Vapor Deposition）のような膜の表面で行われる過程によって成膜速度が定まる表面律速過程においては、下記（20）式の理論式で表わされることが知られている。

ここで、 $\{\partial V/\partial T\}/V$ が膜厚温度係数 S であり、温度の変化によって成膜速度が変化する割合を表している。活性化エネルギーは成膜プロセスの種類、例えば、反応ガス SiH_2Cl_2 および NH_3 からの SiN 膜の形成のような反応過程によって定まり、この例では $1.8[\text{eV}]$ をとることが知られている。以上のように、式(21)に活性化エネルギー E_a と絶対温度 T を代入*

$$S = (Dt - D0) / [D0 \cdot (T_{sp1} - T0)] \quad \cdots \text{式(22)}$$

【0075】式(21)と式(22)を等しいとし、式(22)の絶対温度 T を定常設定温度 $T0$ と置くと、以※10

$$T_{sp1} = T0 + [(Dt - D0)/D0] \cdot [k \cdot T0^2/Ea]$$

… 式(23)

E_a 、 k 、 $T0$ 、 Dt 、 $D0$ は、既知であるから定常設定温度 T_{sp1} を求めることができる。

【0076】そして、ウエハ $W-1$ 毎に求められた定常設定温度 T_{sp1} に基づいて設定温度プロファイルを修正する。修正された設定温度プロファイルの例を図10に示す。図10(A)は修正された設定温度プロファイルの1例を表すグラフであり、図10(B)はこのときの定常設定温度 T_{sp1} の値とウエハの位置との関係の1例を表したグラフである。モニタウエハ $W1 \sim W5$ それぞれの成膜中(時刻 $t3 \sim t4$)の定常設定温度 T_{sp1} の値が、 $T(1) \sim T(5)$ となっていることが判る。

【0077】この例では、モニタウエハ $W1 \sim W5$ の定常設定温度 T_{sp1} がそれぞれ $T(1) \sim T(5)$ に到達する時刻($t2$)が同一であり、従いそれぞれのモニタウエハ $W1 \sim W5$ の安定化時間($t3 - t2$)が同一となっている。しかし、それぞれのウエハ W で安定化時間は必ずしも同一でなくても差し支えない。例えば、モニタウエハ $W1 \sim W5$ の昇温速度(昇温勾配)が同一だとすると、モニタウエハ $W1 \sim W5$ の定常設定温度 T_{sp1} がそれぞれ $T(1) \sim T(5)$ に到達する時刻($t2$)は異なり、従ってそれぞれのモニタウエハ $W1 \sim W5$ について安定化時間が異なることになる。どのモニタウエハ $W1 \sim W5$ でもある程度以上の安定化時間がとれれば、成膜中の温度の安定化を図る安定化工程の目的からして充分である。要するに重要なのは成膜工程(熱処理工程)における設定温度プロファイルであり、その前後の設定温度プロファイルが多少変わっても差し支えない。

$$S = (D2 - D1) / [D1 \cdot (T2 - T1)] \quad \cdots \text{式(30)}$$

また、この膜厚温度係数 S と目標膜厚 Dt の関係は、以☆ ☆下の式(31)で表される。

$$S = (Dt - D2) / [D2 \cdot (T_{sp} - T2)] \quad \cdots \text{式(31)}$$

この式(30)と(31)を連立させることで、適切な定常設定温度 T_{sp} を算出する式(32)を導出でき ◆

$$T_{sp} = T2 + (T2 - T1) \cdot (Dt - D2) \cdot D1 / [(D2 - D1) \cdot D2] \quad \cdots \text{式(32)}$$

【0082】(F)その後 $S110 \sim S118$ が繰り返され基板群間でのウエハの膜厚分布が許容範囲以内にな

*すると膜厚温度係数 $S (= \{\partial V/\partial T\}/V)$ が定まる。

【0074】ウエハ $W-1$ の $S102$ における定常設定温度を $T0$ 、ウエハ $W-1$ の膜厚を目標膜厚 Dt に一致するのに必要な定常設定温度を T_{sp1} とする。このときの膜厚温度係数 $S (= \{\partial V/\partial T\}/V)$ は、次の式(22)によって表される。

※下の式(23)が導ける。

★【0078】(D)修正された設定温度プロファイルに基づいて、第2のバッチにおける複数の基板群におけるウエハ $W-2$ の熱処理を行い($S110$)、複数の基板群のウエハ $W-2$ 上に形成された膜の膜厚を測定する($S112$)。そして、測定した複数の基板群間でのウエハ $W-1$ の膜厚分布が予め設定した許容範囲にあるか否かを判断する($S114$)。この熱処理、膜厚測定、許容範囲内判断は $S102$ 、 $S104$ 、 $S106$ と同様に行うことができる。 $S114$ の判断が Yes なら、修正した設定温度プロファイルを第1の設定温度プロファイルとして決定し、第1の設定温度プロファイル決定工程は終了する。

【0079】(E) $S114$ の判断が No であるなら、第1のバッチにおけるウエハ $W-1$ および第2のバッチにおけるウエハ $W-2$ の膜厚の測定結果に基づき膜厚温度係数を算出し($S116$)、この算出値に基づきそれぞれの基板群におけるウエハ $W-2$ 毎に成膜中の定常設定温度の適切な値を算出する($S118$)。そして、算出した定常設定温度に基づいて設定温度プロファイルが修正される。

【0080】膜厚温度係数および定常設定温度の算出は以下のようにして行われる。ゾーン i について、第2のバッチにおける基板群のウエハ $Wi-2$ 、第1のバッチにおける基板群のウエハ $Wi-1$ 上それぞれの膜厚を $D2$ 、 $D1$ とし、このときの定常設定温度をそれぞれ $T2$ 、 $T1$ とし、ウエハ $W-2$ の膜厚を目標膜厚 Dt に一致するのに必要な定常設定温度を T_{sp} とする。

【0081】膜厚温度係数 $S (= \{\partial V/\partial T\}/V)$ の実測値は以下の式(30)で表される。

☆ ☆下の式(31)で表される。

◆る。

るまで定常設定温度の算出(設定温度プロファイルの修正)が行われ、その結果第1の設定温度プロファイルが

決定される。

【0083】（第2の設定温度プロファイル決定工程の詳細）次に、図6におけるS200の第2の設定温度プロファイルの決定の詳細を説明する。図11は、第2の設定温度プロファイルの決定手順の詳細を表すフロー図である。

【0084】（A）第1の設定温度プロファイルに従って、第3のバッチにおけるウエハW-3を熱処理する（S202）。その後、第3のバッチにおけるウエハW-3上に形成された膜の膜厚を測定する（S204）。このときはウエハW-3の面内の膜厚分布の均一化を目的とするため必ずしもウエハW-3を複数使用する必要はない。しかし、最終的に多数のウエハで基板群間および面内膜厚分布の均一化を図るのが本願の目的であるから、基板群に応じてウエハW-3を複数用いてそのそれぞれに対して、第2の設定温度プロファイルを決定することが好ましい。

【0085】以下は分かり易さのためにウエハW-3は単一のものを使用するものとして説明する。第1の設定*

$$D = a \cdot x^2 + b$$

ここで、a、b：定数である。この式（35）で距離xの1次の項がないのは、膜厚の面内分布がウエハの中心に対して対称であると想定していることによる（距離xの1次の項は、中心に対して逆対称成分）。

【0088】この定数a、bは例えば最小2乗法を用い※

$$\Delta = |d_2 - d_0| / [(d_2 + d_0) / 2] \quad \dots\dots\text{式(40)}$$

この膜厚分布比 Δ と所定の許容値との大小を比較することで、面内膜厚分布が許容範囲内か否かの判断を行える。

【0089】（C）S206の判断がYes（膜厚分布が所定の許容範囲内）であれば、第1の設定温度プロファイルは修正の必要がなく、そのまま第2の設定温度プロファイルとして良い。一方、S206の判断がNoであれば、膜厚温度係数の理論値を用いて、ウエハ面内の膜厚分布を均一にするために必要なウエハ面内の温度分布が算出される（S208）。

【0090】ウエハW-3面内で膜厚分布が出現するのは次の2つの要因があり得る。しかし、要因がそのいずれであってもウエハ面内の温度分布を制御することで面内の膜厚分布の均一化が可能である。

- ① ウエハ面内で温度分布があることによるもの。
- ② ウエハ面内で処理ガスの濃度分布がある等温度分布以外の要因によるもの。

【0091】要因①は、後述のように、時間変化設定温度を適用することで制御可能である。要因②は、特に減圧CVD等のように処理ガスが希薄な場合に大きな要因になり得る。即ち、ウエハ周縁で処理ガスが消費されることでウエハ中央に到達する処理ガスの濃度が低下し、このために周縁よりも中央で膜厚が薄くなる。これに対して例えば熱酸化等常圧の熱処理では処理ガスの消費に

*温度プロファイルは、S100によって決定された設定温度プロファイルを使用する。膜厚の測定には例えばエリブソメータ等の膜厚測定器を用いることができる。膜厚の測定は、ウエハW-3上の複数の箇所で行う。このときの測定点は、例えば図8で示した中央近傍の測定点A、中央と周縁の中間点の4つの測定点B～E、周縁近傍の4つの測定点F～Iの合計9箇所を設定できる。

【0086】（B）測定したウエハ面内の膜厚分布が許容範囲内か否かが判断される（S206）。図12（A）は、ウエハW-3上の膜厚測定結果の1例をウエハW-3中央からの距離と対応して表したグラフである。

【0087】図12（A）の横軸はウエハ中心からの距離を、縦軸は膜厚を表す。ウエハの中心付近で膜厚が小さく、周縁に行くに従って膜厚が大きくなっていることが判る。測定点によって多少のバラツキはあるが、このグラフではウエハ面上の膜厚Dを中心からの距離xの2次関数として次の式（35）に従って表している。

……式（35）

※で算出することができる。その結果、ウエハW-3の中央での膜厚 d_0 、中間点（中央と周縁の中間）での膜厚 d_1 、周縁での膜厚 d_2 を算出できる。そして、ウエハ面内の膜厚分布の大きさを表す量として式（10）と同様の膜厚分布比 Δ を採用できる。

よる処理ガスの濃度変化は小さいので膜厚分布の要因としては小さくなる。

【0092】この要因②を直接取り除くことは困難であるが、ウエハ面内の温度分布を制御することで膜厚分布を均一にすることが可能である。これを示すのが図12（B）である。図12（B）はウエハの中心からの距離と平均温度との関係を表すグラフである。図12（A）ではウエハ上の膜厚がウエハの中心から周縁に向かうにつれて厚くなっているのに対して、図12（B）では平均温度が中心から周縁に向かうにつれて低下している。図12（A）のグラフの膜厚とは逆の傾向の温度分布をウエハ上に作り出すことで、ウエハ上の膜厚分布の均一性を向上できる。

【0093】ウエハW-3面内での膜厚分布は、以上の要因①②が絡み合ったものと考えられるが、いずれにしろウエハの温度分布の制御により均一性の向上が可能である。

【0094】次に面内膜厚分布を均一化するために必要な面内温度分布を算出する方法について述べる。まず、時間変化設定温度では、成膜レートは成膜中における温度の時間平均（平均温度）によって定まることを示す。即ち、時間変化設定温度における面内温度分布は、基板面内のそれぞれの箇所における平均温度に基づいて表すことができる。時間変化設定温度では温度が時間的に変

化するため、最終的な膜厚は膜の成長レートを時間的に積分する必要がある。しかしながら膜の成長レートの平均値は温度の時間平均によって定まる。これを以下に示す。

$$D = \int_{t_s}^{t_e} V(T) dt \quad \cdots \cdots \text{式(50)}$$

ここで、 \int ：積分記号

t_s ：成膜工程の開始時間

t_e ：成膜工程の終了時間

$V(T)$ ：成膜レート V （温度 T の関数）

$$V(T) = V(T_0) + V_1(T_0) \cdot (T - T_0) \quad \cdots \cdots \text{式(51)}$$

ここで、

$V_1(T_0)$ ： $dV(T_0)/dt$ （成膜レート V の時間微分）

$$D = V(T_0) \cdot (t_e - t_s) + V_1(T_0) \cdot \int_{t_s}^{t_e} (T - T_0) dt \quad \cdots \cdots \text{式(52)}$$

ここで、温度 T の時間平均値（平均温度） $T(Av)$ を☆ ☆次の式（53）により定義する。

$$T(Av) = \int_{t_s}^{t_e} T(t) dt / (t_e - t_s) \quad \cdots \cdots \text{式(53)}$$

【0098】そして、式（53）で、 $T_0 = T(Av)$ ♦ ♦とおくと次の式（54）が得られる。

$$D / (t_e - t_s) = V(T(Av)) \quad \cdots \cdots \text{式(54)}$$

ここで、

$D / (t_e - t_s)$ ：成膜中における成膜レートの平均値（平均成膜レート）

である。即ち、式（54）は、成膜中に温度が変動する場合の平均成膜レートは、平均温度 $T(Av)$ によって定まることを意味する。

$$T_c(Av) = \int_{t_s}^{t_e} T_c(t) dt / (t_e - t_s) \quad \cdots \cdots \text{式(55)}$$

$$T_e(Av) = \int_{t_s}^{t_e} T_e(t) dt / (t_e - t_s) \quad \cdots \cdots \text{式(56)}$$

【0100】ウエハ $W-3$ の平均中央温度を T_{c1} 、平均周縁温度を T_{e1} 、中央の膜厚を D_{c1} 、周縁の膜厚を D_{e1} とし、ウエハ $W-3$ の目標膜厚を D_t 、このときの平均中央温度を T_{c2} 、平均周縁温度を T_{e2} とする。すると目標とすべき面内温度差 $\Delta T_2 (= T_{e2} -$

$$T_{c2})$$
は以下のように算出できる。

$$S_c = (D_t - D_{c1}) / [D_{c1} \cdot (T_{c2} - T_{c1})] \quad \cdots \cdots \text{式(57)}$$

$$S_e = (D_t - D_{e1}) / [D_{e1} \cdot (T_{e2} - T_{e1})] \quad \cdots \cdots \text{式(58)}$$

【0102】ここで、 $S_c = S_e = S$ 、かつ

$$D_t = 2 \cdot D_{c1} \cdot D_{e1} \cdot (D_{c1} + D_{e1}) \quad \cdots \cdots \text{式(59)}$$

とおくと、

$$T_{c2} - T_{c1} = - (T_{e2} - T_{e1}) \quad \cdots \cdots \text{式(60)}$$

が導き出される。

★差

【0103】式（57）に式（59）、（60）を代入し、

$\Delta T_1 = T_{e1} - T_{c1}$ ：ウエハ $W-3$ の平均面内温度★

$$\Delta T_2 = \Delta T_1 + 2 (D_{c1} - D_{e1}) / [(D_{c1} + D_{e1}) \cdot S] \quad \cdots \cdots \text{式(61)}$$

【0104】膜厚温度係数 S の理論値は、式（21）よ☆

$$S = (E_a / (k \cdot T^2)) [1/^\circ\text{C}] \quad \cdots \cdots \text{式(62)}$$

E_a 、 k 、膜厚 D_{c1} 、 D_{e1} は既知であり、絶対温度 T をウエハ $W-3$ の設定温度 T_{spl} の時間平均値 $T_{spl}(Av)$ とすると式（61）、（62）より目標とする平均面内温度差 ΔT_2 を算出できる。

＊【0095】ウエハ上に形成される膜の膜厚 D は、成膜レート（膜の成長速度） V および時間 t から次の式（50）のように表される。

※である。

【0096】成膜レート $V(T)$ は次式（51）のように温度の定数値 T_0 で展開できる。

★である。

【0097】式（50）に式（51）を代入すると次の式（52）が導ける。

20＊【0099】以上から、成膜中の中央温度の時間平均値（平均中央温度） $T_c(Av)$ と周縁温度の時間平均値（平均周縁温度） $T_e(Av)$ を制御することで、ウエハ面内膜厚分布の均一化を図ることができる。なお、平均中央温度 $T_c(Av)$ と平均周縁温度 $T_e(Av)$ は次の式で表される。

＊ T_{c2} ）は以下のように算出できる。

【0101】ウエハ中央の膜厚温度係数を S_c 、ウエハ周縁の膜厚温度係数を S_e 、これらは以下の式（57）、（58）によって表される。

40 $\Delta T_2 = T_{e2} - T_{c2}$ ：目標とする平均面内温度差とおくと、目標とする平均面内温度差 ΔT_2 は次の式（61）で表される。

☆り次の式（62）で表される。

【0105】（D）算出した面内温度差 ΔT を基に時間変化設定温度の時間勾配が算出される（S210）。そして、この時間勾配を基に第1の設定温度プロファイルが修正される。

【0106】まず、時間変化設定温度の適用によってウエハ面内の温度分布を制御可能なことを示す。図13

(A)は、設定温度 T_{sp} とウエハの中央近傍の中央温度 T_c 、ウエハ周縁近傍の周縁温度 T_e の時間変化を表したグラフであり、図13(B)はウエハ面内の面内温度差 $\Delta T (=T_e - T_c)$ の時間変化を表したグラフである。

【0107】これらのグラフは、時刻 t_0 から t_1 の定温工程、時刻 t_1 から t_2 の降温工程、時刻 t_2 から t_3 の定温工程、時刻 t_3 から t_4 の昇温工程、時刻 t_4 以降の定温工程に区分できる。そして、昇温工程および降温工程では面内温度差 ΔT が生じ、この温度差は昇温工程と降温工程で逆になっていることが判る。即ち、時間変化設定温度の勾配の正負と面内温度差の正負は対応する。

【0108】この温度勾配と面内温度差の関係はウエハWが積層した状態でその周縁がヒータ31~35に対向していることによって生じている。即ち、ウエハの周縁は中央よりも加熱されやすく、また放熱しやすい状態となっている。このため、降温時にはウエハは中央温度が周縁温度よりも高くなり、昇温時には周縁温度が中央温度よりも高くなり温度差 ΔT が生じる。そして、温度差 ΔT は定温、降温、昇温等の切替時に多少の時間遅れ(Δt_1 、 Δt_2 、 Δt_3 、 Δt_4)はあるもののそれぞれの工程の中では絶対値がほぼ一定値 ΔT_1 であることが判る。

【0109】図14は、設定温度の変化率($=dT_{sp}/dt$)と面内温度差 $\Delta T (=T_e - T_c)$ の関係を表したグラフである。設定温度の変化率(設定温度の時間勾配)と面内温度差はほぼ比例することが判る。熱処理炉毎に具体的な設定温度の変化率 V と面内温度差 ΔT との関係(比例定数)は異なるが、これは実験的に求めることができる。即ち、所定の昇温レート(または降温レート)でウエハWを昇温し、このときの面内温度差 ΔT を実測すればよい。

【0110】以上から、時間変化設定温度の勾配を変化することによって温度分布(面内温度差 ΔT)の大小及び正負を制御できることが判った。このように前述の図14等の時間変化設定温度の勾配 dT_{sp}/dt と面内温度差 ΔT の関係をj用いて、算出した必要面内温度差 ΔT_2 から時間変化設定温度の勾配 dT_{sp}/dt を算出できる。

【0111】そして、算出された時間変化設定温度の勾配に基づいて、第1の設定温度プロファイルが修正される。この例を図15に表す。図15は、修正後の第1の設定温度プロファイル T_{sp2} を修正前の第1の設定温度プロファイル T_{sp1} と対比して示したグラフである。修正前は成膜中が定常設定温度であったのに対し、修正後は時間変化設定温度となっている。ここで、成膜中の設定温度の平均値は修正の前後で同一の温度 T_2 と

している。これは、ウエハ上の膜厚の平均値を変化させないためであり、式(54)で示したように膜の成長速度の時間平均は温度の時間平均で定まることに基づく。

【0112】第1の設定温度プロファイルの修正にあたって重要なことは、成膜中の設定温度をどのように規定するかであり、成膜前後の条件は多少変化させても差し支えない。例えば、時刻 t_1 から t_2 の昇温時の昇温レート、昇温時間、安定化時間($t_3 - t_2$)が、設定温度プロファイルの修正前後で多少異なっても差し支えない。

【0113】(E)修正後の第1の設定温度プロファイルに従って、第4のバッチにおけるウエハW-4を熱処理し(S212)、ウエハW-4面内の膜厚分布を測定する(S214)。そして、測定したウエハW-4面内の膜厚分布が許容範囲か否かが判断される(S216)。

【0114】図16は、図15に示した設定温度プロファイルに従って熱処理を行った場合の温度の時間変化を表している。図16(A)は、設定温度とウエハ中央近傍の中央温度 T_c 、ウエハ周縁の周縁温度 T_e の時間変化を、図16(B)は温度差 $\Delta T (=T_e - T_c)$ の時間変化をそれぞれ表すグラフである。

【0115】図16(A)、(B)に示すように、時刻 t_3 から t_5 の成膜中(熱処理中)のウエハW-4はウエハ中央近傍の中央温度 T_c が周縁近傍の周縁温度 T_e より高くなっている。これは既に述べたように時間変化設定温度に勾配があることによる。このように、S204で測定された膜厚分布とは逆の温度分布(もし、W-3が中央より周縁で膜厚が大きければ、W-4では中央が周縁より高温とする)を与えることにより、ウエハW-4面内での膜厚分布の均一化を図ることができる。

【0116】次に第1の設定温度プロファイルに図15とは別の修正を加えた例を示す。図17は、第1の設定温度プロファイルを修正する際に図15とは成膜工程の前後の工程を変えた設定温度プロファイルにおける温度の時間変化を示す。図17(A)は設定温度とウエハ中央近傍の中央温度 T_c 、ウエハ周縁の周縁温度 T_e の時間変化を、図17(B)は温度差 $\Delta T (=T_e - T_c)$ の時間変化を1例として表すグラフである。

【0117】ここでは、成膜工程(時刻 $t_4 \sim t_6$)の前後それぞれに昇温工程(時刻 $t_3 \sim t_4$ 、時刻 $t_6 \sim t_7$)が入り、時刻 t_7 以降が安定化工程となっている。この結果、第1の安定化工程(時刻 $t_2 \sim t_3$)、第2の安定化工程(時刻 t_7 以降)の設定温度と成膜工程(時刻 $t_4 \sim t_6$)での設定温度の平均とが T_2 と一致している。このように基準となる設定温度を定めておく熱処理工程の明確化を図ることができる。例えば、一連の熱処理工程毎に基準となる設定温度を異ならせることで、それぞれの熱処理工程を相互に区別しやすくなる。このように成膜工程の前後に多少の工程を付加して

も、成膜工程に与える影響が大きくなければ第1の設定温度プロファイルを修正する上で問題はない。

【0118】(F) S216の判断がYesなら、修正した第1の設定温度プロファイルは第2の設定温度プロファイルとされ、第2の設定温度プロファイル決定工程は終了する。

【0119】なお、成膜の開始と時間変化設定温度の開始が同時に行われた結果、図16(B)に示すように成膜の初期($t_3 \sim t_3 + \Delta t_3$)で温度分布に過渡的な状態が生じている。従って、時間変化設定温度の開始から処理ガスの導入等成膜の開始に至るまで少し時間的に遅らせることが、成膜期間中の膜の均一な成長を図る上でより好ましい。

【0120】(G) S216の判断がNoであるなら第3のバッチにおけるウエハW-3および第4のバッチにおけるW-4の実測膜厚から膜厚温度係数Sを算出する(S218)。この算出は、式(30)を用いることによって行える。但し、このときの温度T1、T2は成膜中の温度の時間平均値T(Av)を使用する。

【0121】(H) その後、膜厚温度係数の算出値を基に、ウエハ面内の膜厚分布を均一にするために必要なウエハ面内の温度分布を算出し(S220)、これを基に時間変化設定温度の勾配を算出して、修正した第1の設定温度プロファイルに更なる修正を加える。これらの工程はS208、S210とほぼ対応するものであるもので、重複した説明は省略する。

(I) そして、ウエハ面内の膜厚分布が許容範囲になるまでS212、S214等のステップが繰り返され、第2の設定温度プロファイルが決定される。

【0122】(第3の設定温度プロファイル決定工程の詳細) 次にS300の第3の設定温度プロファイルの決定の詳細を説明する。第3の設定温度プロファイルの決定は、第2の設定温度プロファイルの決定(第1の設定温度プロファイルの修正)によって基板群間での基板の膜厚分布が低下することがあるため、これを是正するために行われる。即ち、第3の設定温度プロファイルを決

定する目的は第1の温度設定プロファイルを決

定する目的と同様である。基本的な相違は、第1の設定温度プロファイルが成膜中に定常設定温度であるのに対し、第3

10

20

30

40

50

ロファイル)の1例を示す。ここでは、図17に示した第2の設定温度プロファイルを修正する例を示している。図19(A)に基板群G1~G5における基板(モニタウエハW1~W5)それぞれの設定温度プロファイルを、図19(B)に成膜中の時間変化設定温度の平均値をモニタウエハW1~W5の位置と対応して示している。この図19は、第1の設定温度プロファイルを示す図10と対応するものである。

【0125】図19では、第2の設定温度プロファイルの決定において時間変化設定温度の勾配がただ一つのみ規定されているものとする。その結果、縦型熱処理炉10のゾーン1~5に設置された基板群G1~G5(モニタウエハW1~W5)の時間変化設定温度プロファイルは、成膜中(時刻 $t_4 \sim t_6$)において定数項のみが異なっている(時間変化設定温度の形状自体は変化させていない)。

【0126】但し、それぞれの基板群G1~G5(モニタウエハW1~W5)毎に時間変化設定温度プロファイルの形状を異ならせることも可能である。このときでも基板群G1~G5(モニタウエハW1~W5)のそれぞれの設定温度プロファイルは、修正の前後で形状が同一であるものとする。要するに基板群G1~G5(モニタウエハW1~W5)毎に、ウエハ上の膜厚の平均値を目標膜厚D_tに近づけるべく、適正な時間変化設定温度の時間平均値の算出、これに基づく設定温度プロファイルの修正を行えば良いのである。

【0127】なお、既に述べたように成膜工程(時刻 $t_4 \sim t_6$)の前後の工程では設定温度プロファイルを相互に多少変更することが許容され、また、時間変化設定温度の開始より少し時間が経過してから処理ガス導入等の成膜工程を開始した方が良いのはいうまでもない。その他の点では図7と本質的に相違する点はないので、重複した説明は省略する。

【0128】(その他の実施形態) 以上の発明の実施形態は、本発明の技術的思想の範囲内で、拡張、変更が可能である。

【0129】まず、第1、第2、第3の設定温度プロファイルの決定工程は必ずしもこの3つの工程が必須ではなく、それぞれを単独で実施しても差し支えない。第1および第3の設定温度プロファイル決定工程は基板群が複数であることが前提であるが、第2の設定温度プロファイル決定工程は基板群が単数であっても差し支えない。

【0130】基板は半導体ウエハには限られず、例えばガラス基板であってもよい。時間変化設定温度の勾配は必ずしも時間的に一定である必要はない。勾配が一定でなくても基板面内の膜厚分布の均一化を図ることができる。

【0131】ヒータの区分の数は5には限られない。また、ヒータの制御には常に中央温度T_cと周縁温度T_e

から代表温度 T_r を算出して行わなければならないというのではなく、何らかの形で基板を代表する温度を適宜用いることができる。

【0132】中央温度 T_c および周縁温度 T_e は、温度センサ S_{in} 、 S_{out} の測定信号から推定するのではなく、直接測定しても差し支えない。この測定には、例えば(a)熱電対等の温度センサをモニタウエハ $W1 \sim W5$ に設置する方法、あるいは(b)放射温度計等による非接触測定を用いることができる。このときには、温度センサ S_{in} 、 S_{out} は外しても差し支えない。

【0133】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、基板間(基板群間)あるいは基板面内において膜厚分布の均一化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る縦型熱処理装置を示す断面図である。

【図2】 本発明に係る縦型熱処理装置を示す斜視図である。

【図3】 本発明に係る縦型熱処理装置のコントローラの詳細を示すブロック図である。

【図4】 本発明に係る縦型熱処理装置の設定温度プロファイルの1例を示すグラフである。

【図5】 本発明に係る縦型熱処理装置のコントローラによる制御手順を表すフロー図である。

【図6】 本発明に係る設定温度プロファイルの決定手順の概略を表したフロー図である。

【図7】 本発明に係る第1の設定温度プロファイルの決定手順の詳細を表したフロー図である。

【図8】 ウエハ上で膜厚を測定する測定点の1例を示す正面図である。

【図9】 ウエハ上の膜厚分布の1例を示す正面図である。

【図10】 修正された設定温度プロファイルの1例および定常設定温度 T_{sp1} の値とウエハの位置との関係を表したグラフである。

【図11】 第2の設定温度プロファイルの決定手順の詳細を表すフロー図である。

【図12】 ウエハ面内の膜厚とウエハからの距離の関係、およびウエハ面内膜厚を均一にするためのウエハ面内の温度分布の1例を表したグラフである。

【図13】 設定温度 T_{sp} と中央温度 T_c 、周縁温度

T_e および面内温度差 ΔT の時間変化の1例を表したグラフである。

【図14】 設定温度の変化率(勾配)と面内温度差 ΔT の関係を表したグラフである。

【図15】 修正後の第1の設定温度プロファイル T_{sp2} を修正前の設定温度プロファイル T_{sp1} と対比して示したグラフである。

【図16】 修正後の第1の設定温度プロファイル T_{sp2} に基づく、設定温度と中央温度 T_c 、周縁温度 T_e および温度差 ΔT の時間変化の1例をそれぞれ表すグラフである。

【図17】 他の修正後の第1の設定温度プロファイル T_{sp2} に基づく、設定温度と中央温度 T_c 、周縁温度 T_e および温度差 ΔT の時間変化の他の例をそれぞれ表すグラフである。

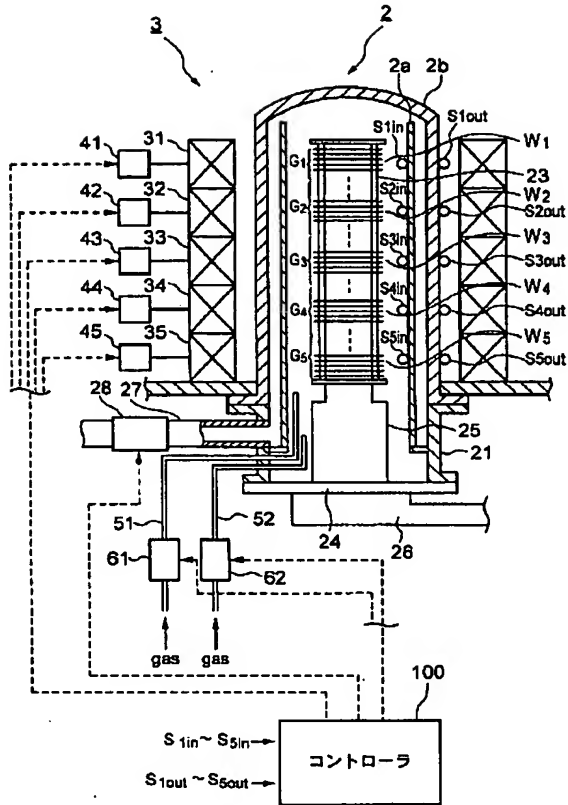
【図18】 第3の設定温度プロファイルの決定手順の詳細を表すフロー図である。

【図19】 修正された第2の設定温度プロファイルおよび成膜中の時間変化設定温度の平均値をモニタウエハ $W1 \sim W5$ の位置と対応して示すグラフである。

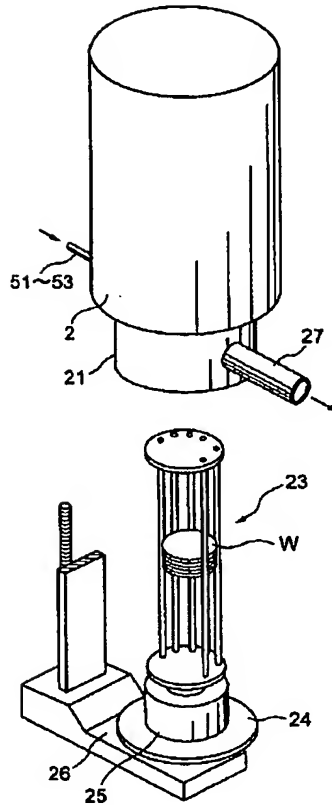
【符号の説明】

- 10 縦型熱処理炉
- 2 反応管
- 2b 外管
- 2a 内管
- 20 ウエハポート
- 21 マニホールド
- 22 フェースプレート
- 23 ウエハポート
- 24 蓋体
- 26 ポートエレベータ
- 27 排気管
- 28 圧力調整部
- 3, 31~35 ヒータ
- 41~45 電力制御器
- 51, 52 ガス供給管
- 61, 62 流量調整部
- 100 コントローラ
- 110 基板温度推定部
- 120 代表温度算出部
- 130 設定温度プロファイル記憶部
- 140 ヒータ出力決定部

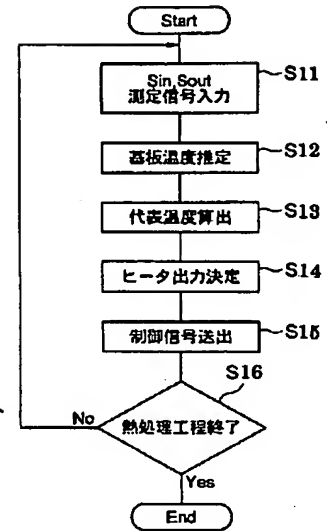
【図1】



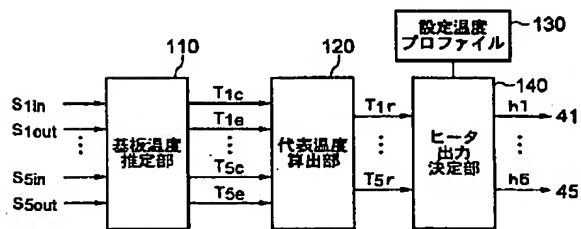
【図2】



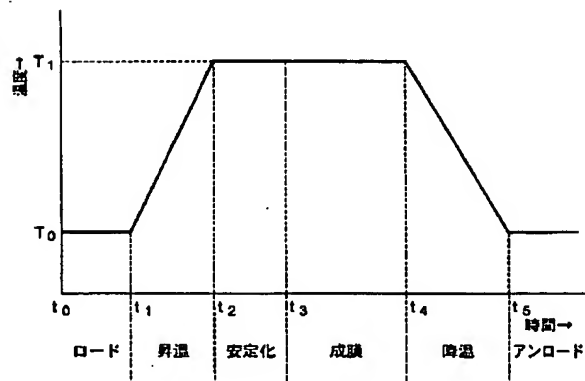
【図5】



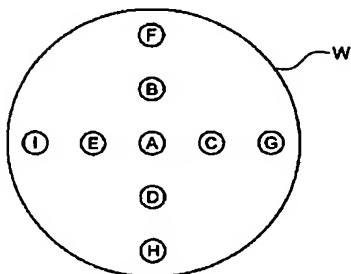
【図3】



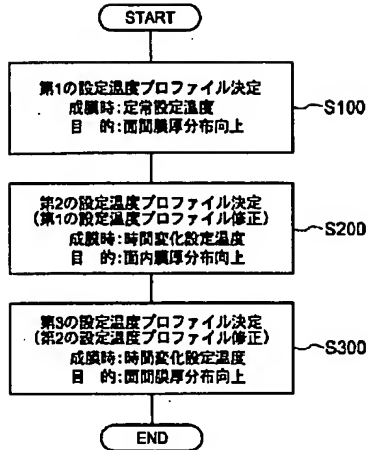
【図4】



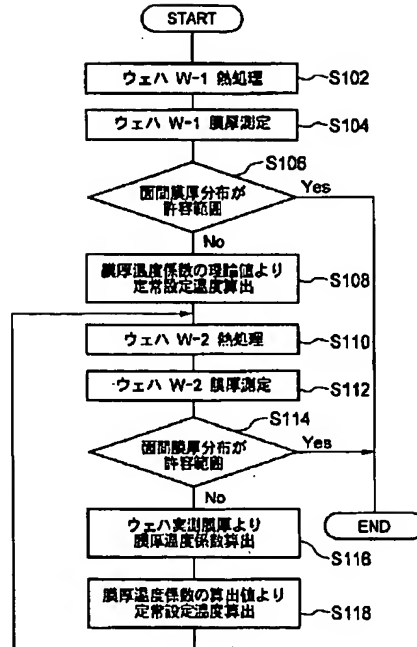
【図8】



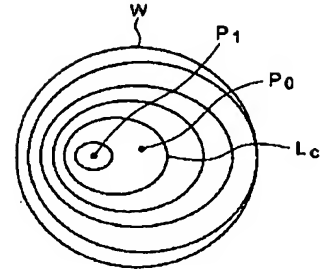
【図6】



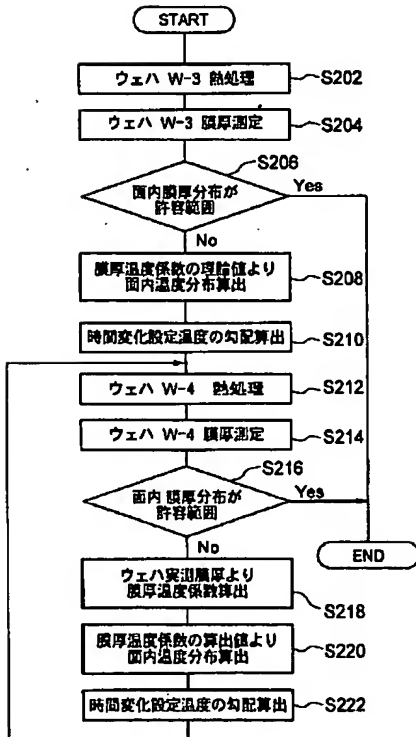
【図7】



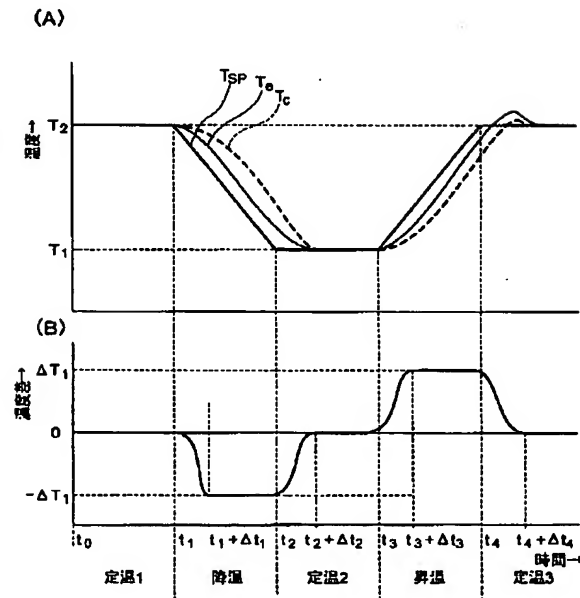
【図9】



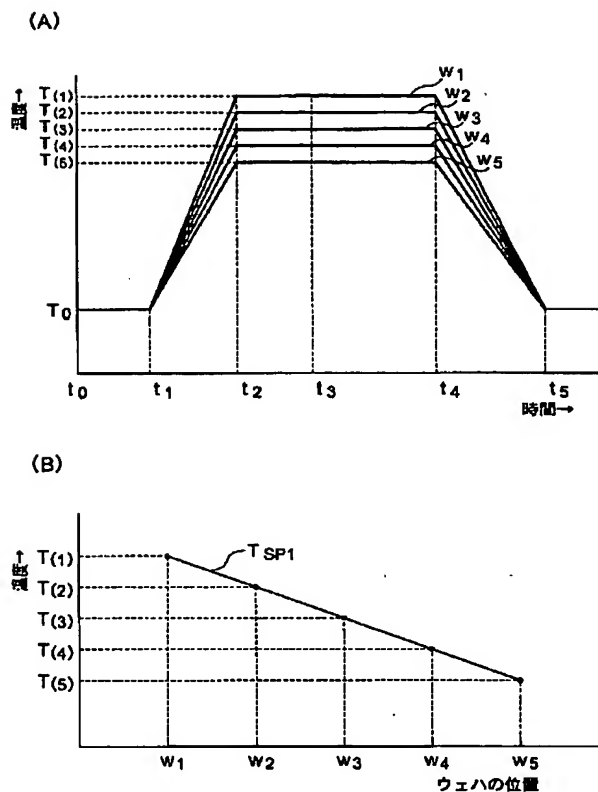
【図11】



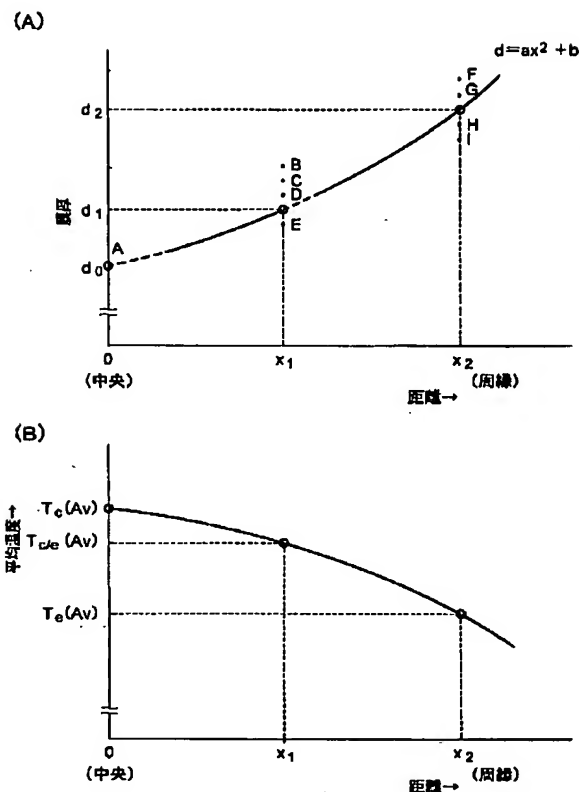
【図13】



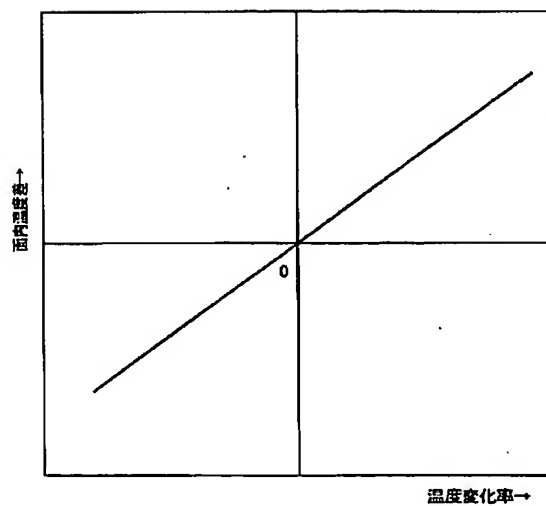
【図10】



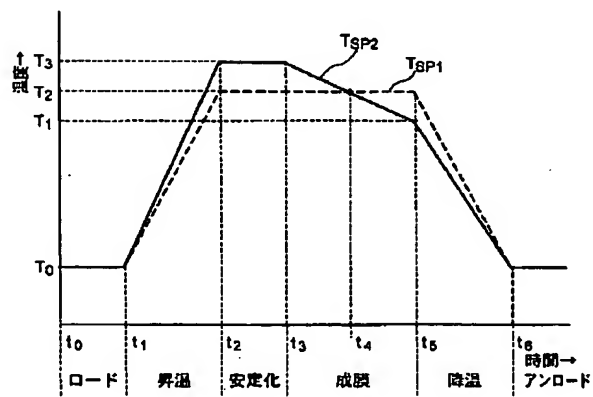
【図12】



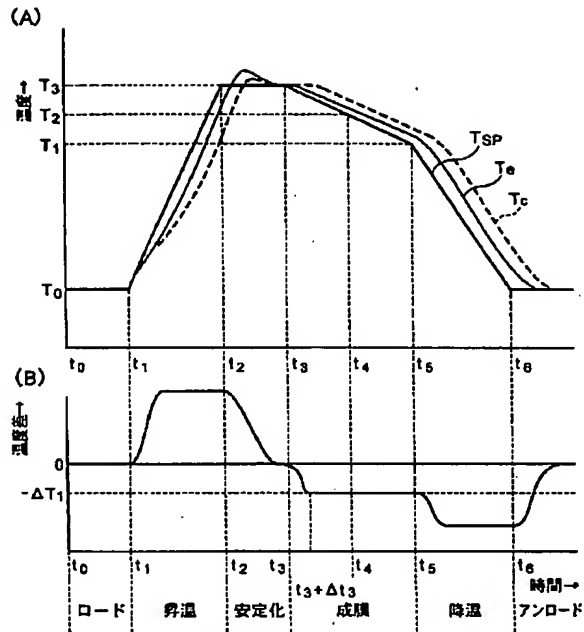
【図14】



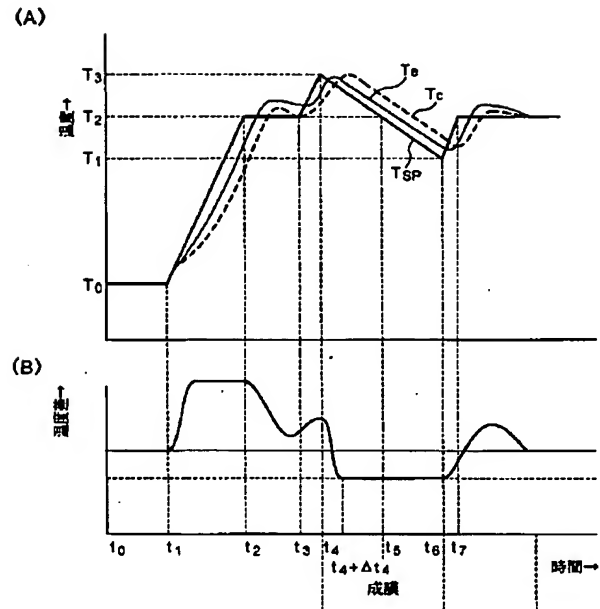
【図15】



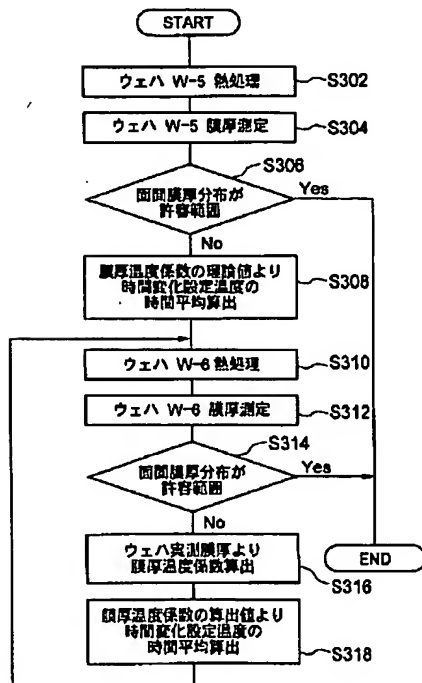
【図16】



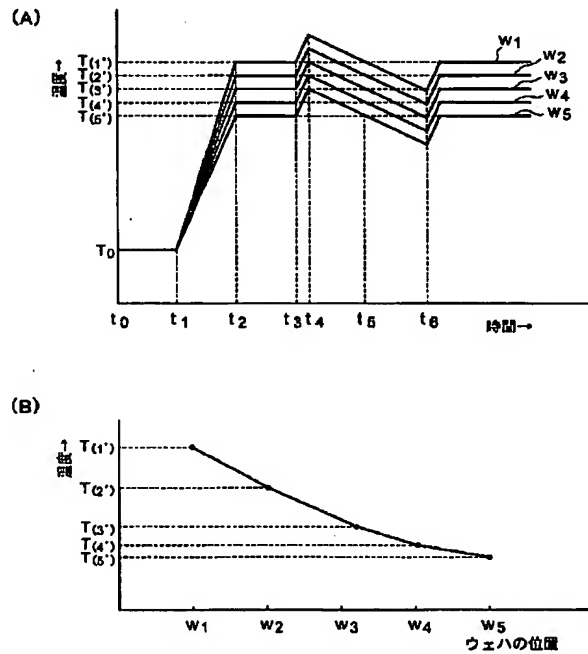
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 富士雄
神奈川県津久井郡城山町屋 1 丁目 2 番 41
号 東京エレクトロン東北株式会社相模事
業所内
(72)発明者 安原 もゆる
東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 東京エ
レクトロン株式会社内

F ターム(参考) 4K029 AA24 EA01 EA08
4K030 HA13 JA01 JA10
5F045 AA06 AA20 AB32 AB33 AF01
AF07 BB02 BB03 DP19 EK22
EK27 EK30 GB01 GB05 GB09
GB17